

DEVICE AND METHOD FOR MACHINING LASER BEAM

Publication number: JP2004188422

Publication date: 2004-07-08

Inventor: FUKUMITSU KENJI; FUKUYO FUMITSUGU; KUNO KOJI

Applicant: HAMAMATSU PHOTONICS KK

Classification:

- international: B23K26/04; B28D1/22; B23K26/04; B28D1/22; (IPC1-7): B23K26/00; B23K26/04; B28D5/00; H01L21/301; B23K101/40

- european: B23K26/04; B28D1/22B

Application number: JP20020355652 20021206

Priority number(s): JP20020355652 20021206

Also published as:



EP1595637 (A1)

WO2004052586 (A)

AU2003289189 (A)

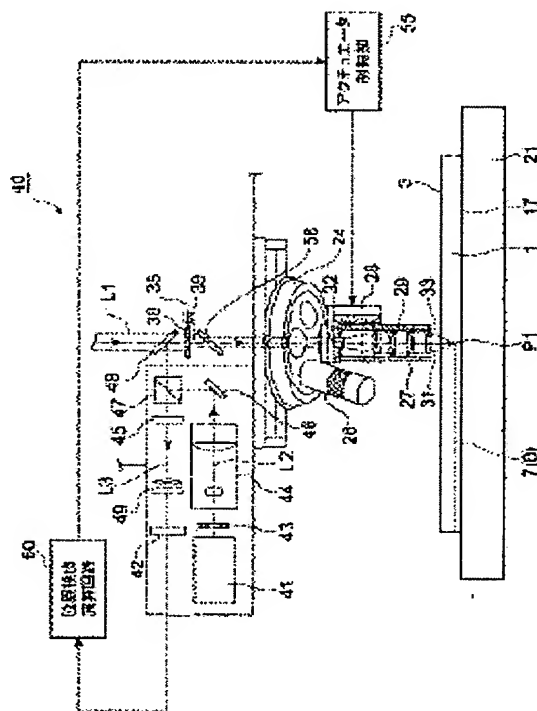
Report a data error h

Abstract of JP2004188422

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a device and a method capable of efficiently condensing a laser beam for machining to a prescribed position.

SOLUTION: In the device for machining the laser beam, the laser beam L1 for machining and the laser beam L2 for measuring distance are condensed on the same axis through a condensing lens 31 to a work 1 to be machined. Then, a reflected light L3 of the laser beam for measuring distance reflected on the surface 3 of the work 1 to be machined is detected by a condensing point positional controlling means 40 and a condensing point P1 of the laser beam L1 for machining is controlled to the prescribed position. By this way, machining by the laser beam L1 for machining and measuring the displacement of the surface 3 by the laser beam L2 for measuring distance are performed on the same axis so that the condensing point P1 of the laser beam L1 for machining can be prevented from being misaligned from the prescribed position due to vibration of the stage 21 or the like. Accordingly, the laser beam L1 for machining can be efficiently condensed to the prescribed position.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO&NCIPI



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせて第 1 のレーザ光を照射し、前記加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するレーザ加工装置であって、
前記第 1 のレーザ光と、前記加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第 2 のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光する集光レンズと、
前記レーザ光照射面で反射された前記第 2 のレーザ光の反射光を検出することにより、前記加工対象物の内部における前記第 1 のレーザ光の集光点の位置を制御する集光点位置制御手段とを備えたことを特徴とするレーザ加工装置。

【請求項 2】

10

前記レーザ光照射面は、前記加工対象物の前記集光レンズ側の表面であり、
前記集光点位置制御手段は、前記第 1 のレーザ光の集光点の位置が前記集光レンズ側の表面から一定の深さとなるように前記第 1 のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とする請求項 1 記載のレーザ加工装置。

【請求項 3】

前記集光点位置制御手段は、前記集光レンズと前記加工対象物との距離を変化させることで、前記加工対象物の内部における前記第 1 のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のレーザ加工装置。

【請求項 4】

前記第 2 のレーザ光の反射光の光路上には、前記第 2 のレーザ光の反射光を通過させ、前記レーザ光照射面で反射された前記第 1 のレーザ光の反射光を遮断するフィルタが設けられていることを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項記載のレーザ加工装置。

20

【請求項 5】

第 1 のレーザ光を照射して前記加工対象物を加工するレーザ加工装置であって、
前記第 1 のレーザ光と、前記加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第 2 のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光する集光レンズと、
前記レーザ光照射面で反射された前記第 2 のレーザ光の反射光を検出することにより、前記加工対象物に対する前記第 1 のレーザ光の集光点の位置を制御する集光点位置制御手段とを備えたことを特徴とするレーザ加工装置。

【請求項 6】

30

ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせて第 1 のレーザ光を照射し、前記加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するレーザ加工方法であって、
前記第 1 のレーザ光と、前記加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第 2 のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光し、
前記レーザ光照射面で反射された前記第 2 のレーザ光の反射光を検出することにより、前記加工対象物の内部における前記第 1 のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とするレーザ加工方法。

【請求項 7】

第 1 のレーザ光を照射して前記加工対象物を加工するレーザ加工方法であって、
前記第 1 のレーザ光と、前記加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第 2 のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光し、
前記レーザ光照射面で反射された前記第 2 のレーザ光の反射光を検出することにより、前記加工対象物に対する前記第 1 のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とするレーザ加工方法。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、レーザ光を照射することで加工対象物を加工するためのレーザ加工装置及びレーザ加工方法に関する。

【0002】

50

【従来の技術】

従来のレーザ加工装置には、加工対象物を加工するためのレーザ光を集光する集光レンズに対し、加工対象物の表面高さを測定する測定手段（接触式変位計や超音波距離計等）を所定の間隔をもって並設させたものがある（例えば、特許文献1の図8～図10参照）。このようなレーザ加工装置では、加工対象物の表面に沿ってレーザ光をスキャンする際に、測定手段により加工対象物の表面高さを測定し、その測定点が集光レンズの直下に到達したときに、その表面高さを測定値に基づいて集光レンズと加工対象物の表面との距離が一定となるように集光レンズをその光軸方向に駆動する。これにより、加工対象物の表面が凸凹していても、レーザ光の集光点を常に加工対象物の表面に位置させてレーザ光を照射することができる。

10

【0003】

【特許文献1】

特開2002-219591号公報

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述したようなレーザ加工装置にあっては、次のような課題が存在する。すなわち、集光レンズと測定手段とが所定の間隔をもって並設されているため、加工対象物を載置するステージの振動などによって、集光レンズ直下における加工対象物の実際の表面高さと測定手段による測定値との間に誤差を生じてしまい、レーザ光の集光点の位置が加工対象物の表面からずれるおそれがある。

20

【0005】

そこで、本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、加工対象物を加工するためのレーザ光を所定の位置に精度良く集光することのできるレーザ加工装置及びレーザ加工方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明に係るレーザ加工装置は、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせて第1のレーザ光を照射し、加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するレーザ加工装置であって、第1のレーザ光と、加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光する集光レンズと、レーザ光照射面で反射された第2のレーザ光の反射光を検出することにより、加工対象物の内部における第1のレーザ光の集光点の位置を制御する集光点位置制御手段とを備えたことを特徴とする。

30

【0007】

このレーザ加工装置においては、多光子吸収による改質領域を形成するための第1のレーザ光と、加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とが同一の軸線上において集光レンズにより加工対象物に向けて集光される。このとき、集光点位置制御手段によって、レーザ光照射面で反射された第2のレーザ光の反射光が検出され、第1のレーザ光の集光点の位置が加工対象物の内部における所定の位置に制御される。このように、第1のレーザ光による改質領域の形成と、第2のレーザ光によるレーザ光照射面の変位の測定とが同一の軸線上において行われるため、例えば、加工対象物を載置するステージの振動などを原因として、第1のレーザ光の集光点の位置が加工対象物の内部における所定の位置からずれてしまうのを防止することができる。したがって、加工対象物を加工するための第1のレーザ光を所定の位置に精度良く集光することが可能になる。

40

【0008】

そして、ウェハ状の加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成する場合には集光レンズの開口数を大きくする必要があり、そのため、溶断等のレーザ加工を行う場合に比べて、集光レンズと加工対象物とが近接することになる。このような状態で、従来のレーザ加工装置のように集光レンズの側方に測定手段を並設させることは装置構成上極めて困難であるが、本発明に係るレーザ加工装置によれば、そのような困難な構成を採用する

50

ことも不要になる。

【0009】

また、レーザ光照射面は、加工対象物の集光レンズ側の表面であり、集光点位置制御手段は、第1のレーザ光の集光点の位置が集光レンズ側の表面から一定の深さとなるように第1のレーザ光の集光点の位置を制御することが好ましい。これにより、例えば、改質領域を起点として加工対象物を切断する場合に、加工対象物の表面側での切断精度を安定化させることができる。このような表面側での切断精度の安定化は、加工対象物の表面に複数の機能素子が形成され、機能素子毎に加工対象物を切断する場合には、機能素子の損傷を防止可能であるため特に有効である。なお、機能素子とは、フォトダイオード等の受光素子やレーザダイオード等の発光素子、或いは回路として形成された回路素子等を意味する

10

【0010】

また、集光点位置制御手段は、集光レンズと加工対象物との距離を変化させることで、加工対象物の内部における第1のレーザ光の集光点の位置を制御することが好ましい。すなわち、集光レンズ及び加工対象物の少なくとも一方を移動させることで、第1のレーザ光の集光点を加工対象物の内部における所定の位置に合わせることが可能になる。

【0011】

また、第2のレーザ光の反射光の光路上には、第2のレーザ光の反射光を通過させ、レーザ光照射面で反射された第1のレーザ光の反射光を遮断するフィルタが設けられていることが好ましい。このフィルタを採用することで、集光点位置検出手段は、第1のレーザ光の反射光に影響されることなく第2のレーザ光の反射光を正確に検出することができ、第1のレーザ光の集光点の位置精度をより一層向上させることが可能になる。

20

【0012】

また、本発明に係るレーザ加工装置は、第1のレーザ光を照射して加工対象物を加工するレーザ加工装置であって、第1のレーザ光と、加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光する集光レンズと、レーザ光照射面で反射された第2のレーザ光の反射光を検出することにより、加工対象物に対する第1のレーザ光の集光点の位置を制御する集光点位置制御手段とを備えたことを特徴とする。

【0013】

このレーザ加工装置においても、上述した多光子吸収による改質領域を形成するためのレーザ加工装置と同様に、加工対象物を加工するための第1のレーザ光を所定の位置に精度良く集光することができる。

30

【0014】

さらに、上記目的を達成するために、本発明はレーザ加工方法にも係り、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせて第1のレーザ光を照射し、加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するレーザ加工方法であって、第1のレーザ光と、加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光し、レーザ光照射面で反射された第2のレーザ光の反射光を検出することにより、加工対象物の内部における第1のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とする。

40

【0015】

また、本発明に係るレーザ加工方法は、第1のレーザ光を照射して加工対象物を加工するレーザ加工方法であって、第1のレーザ光と、加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光し、レーザ光照射面で反射された第2のレーザ光の反射光を検出することにより、加工対象物に対する第1のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とする。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係るレーザ加工装置及びレーザ加工方法の好適な実施形態について、図面

50

を参照して詳細に説明する。

【0017】

本実施形態に係るレーザ加工装置は、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、前記加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するものである。そこで、本実施形態に係るレーザ加工装置の説明に先立って、多光子吸収による改質領域の形成について説明する。

【0018】

材料の吸収のバンドギャップ E_g よりも光子のエネルギー $h\nu$ が小さいと光学的に透明となる。よって、材料に吸収が生じる条件は $h\nu > E_g$ である。しかし、光学的に透明でも、レーザ光の強度を非常に大きくすると $n h\nu > E_g$ の条件 ($n = 2, 3, 4, \dots$) で材料に吸収が生じる。この現象を多光子吸収という。パルス波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点のピークパワー密度 (W/cm^2) で決まり、例えばピークパワー密度が 1×10^8 (W/cm^2) 以上の条件で多光子吸収が生じる。ピークパワー密度は、(集光点におけるレーザ光の1パルス当たりのエネルギー) \div (レーザ光のビームスポット断面積 \times パルス幅) により求められる。また、連続波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点の電界強度 (W/cm^2) で決まる。

10

【0019】

このような多光子吸収を利用する本実施形態に係るレーザ加工の原理について、図1～図6を参照して説明する。図1はレーザ加工中の加工対象物1の平面図であり、図2は図1に示す加工対象物1のI-I線に沿った断面図であり、図3はレーザ加工後の加工対象物1の平面図であり、図4は図3に示す加工対象物1のV-V線に沿った断面図であり、図5は図3に示す加工対象物1のV-V線に沿った断面図であり、図6は切断された加工対象物1の平面図である。

20

【0020】

図1及び図2に示すように、加工対象物1の表面3には、加工対象物1を切断すべき所望の切断予定ライン5がある。切断予定ライン5は直線状に延びた仮想線である(加工対象物1に実際に線を引いて切断予定ライン5としてもよい)。本実施形態に係るレーザ加工は、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して改質領域7を形成する。なお、集光点とはレーザ光Lが集光した箇所のことである。

30

【0021】

レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って(すなわち矢印A方向に沿って)相対的に移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させる。これにより、図3～図5に示すように改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部にのみ形成され、この改質領域7でもって切断予定部8が形成される。本実施形態に係るレーザ加工方法は、加工対象物1がレーザ光Lを吸収することにより加工対象物1を発熱させて改質領域7を形成するのではない。加工対象物1にレーザ光Lを透過させ加工対象物1の内部に多光子吸収を発生させて改質領域7を形成している。よって、加工対象物1の表面3ではレーザ光Lがほとんど吸収されないので、加工対象物1の表面3が熔融することはない。

40

【0022】

加工対象物1の切断において、切断する箇所に起点があると加工対象物1はその起点から割れるので、図6に示すように比較的小さな力で加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1の表面3に不必要な割れを発生させることなく加工対象物1の切断が可能となる。

【0023】

なお、切断予定部を起点とした加工対象物の切断には、次の2通りが考えられる。1つは、切断予定部形成後、加工対象物に人為的な力が印加されることにより、切断予定部を起点として加工対象物が割れ、加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚さが大きい場合の切断である。人為的な力が印加されるとは、例えば、加工対象

50

物の切断予定部に沿って加工対象物に曲げ応力やせん断応力を加えたり、加工対象物に温度差を与えることにより熱応力を発生させたりすることである。他の1つは、切断予定部を形成することにより、切断予定部を起点として加工対象物の断面方向（厚さ方向）に向かって自然に割れ、結果的に加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚さが小さい場合には、1列の改質領域により切断予定部が形成されることで可能となり、加工対象物の厚さが大きい場合には、厚さ方向に複数列形成された改質領域により切断予定部が形成されることで可能となる。なお、この自然に割れる場合も、切断する箇所において、切断予定部が形成されていない部位に対応する部分の表面上にまで割れが先走ることがなく、切断予定部を形成した部位に対応する部分のみを切断することができるので、切断を制御よくすることができる。近年、シリコンウェハ等の加工対象物の厚さは薄くなる傾向にあるので、このような制御性のよい切断方法は大変有効である。

10

【0024】

さて、本実施形態において多光子吸収により形成される改質領域としては、次の(1)～(3)がある。

【0025】

(1) 改質領域が1つ又は複数のクラックを含むクラック領域の場合

加工対象物（例えばガラスやLiTaO₃からなる圧電材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²)以上で且つパルス幅が1 μs以下の条件でレーザー光を照射する。このパルス幅の大きさは、多光子吸収を生じさせつつ加工対象物の表面に余計なダメージを与えずに、加工対象物の内部にのみクラック領域を形成できる条件である。これにより、加工対象物の内部には多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部にクラック領域が形成される。電界強度の上限值としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²)である。パルス幅は例えば1 ns～200 nsが好ましい。なお、多光子吸収によるクラック領域の形成は、例えば、第45回レーザー熱加工研究会論文集（1998年、12月）の第23頁～第28頁の「固体レーザー高調波によるガラス基板の内部マーキング」に記載されている。

20

【0026】

本発明者は、電界強度とクラックの大きさとの関係を実験により求めた。実験条件は次の通りである。

30

【0027】

(A) 加工対象物：パイレックス（登録商標）ガラス（厚さ700 μm）

(B) レーザ

光源：半導体レーザー励起Nd:YAGレーザー

波長：1064 nm

レーザー光スポット断面積： 3.14×10^{-8} cm²

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数：100 kHz

パルス幅：30 ns

出力：出力<1 mJ / パルス

レーザー光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

40

(C) 集光用レンズ

レーザー光波長に対する透過率：60パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100 mm / 秒

【0028】

なお、レーザー光品質がTEM₀₀とは、集光性が高くレーザー光の波長程度まで集光可能を意味する。

【0029】

図7は上記実験の結果を示すグラフである。横軸はピークパワー密度であり、レーザー光が

50

パルスレーザ光なので電界強度はピークパワー密度で表される。縦軸は1パルスのレーザ光により加工対象物の内部に形成されたクラック部分（クラックスポット）の大きさを示している。クラックスポットが集まりクラック領域となる。クラックスポットの大きさは、クラックスポットの形状のうち最大の長さとなる部分の大きさである。グラフ中の黒丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が100倍、開口数（NA）が0.80の場合である。一方、グラフ中の白丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が50倍、開口数（NA）が0.55の場合である。ピークパワー密度が 10^{11} (W/cm^2) 程度から加工対象物の内部にクラックスポットが発生し、ピークパワー密度が大きくなるに従いクラックスポットも大きくなることが分かる。

【0030】

次に、本実施形態に係るレーザ加工において、クラック領域形成による加工対象物の切断のメカニズムについて図8～図11を用いて説明する。図8に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して切断予定ラインに沿って内部にクラック領域9を形成する。クラック領域9は1つ又は複数のクラックを含む領域である。このクラック領域9でもって切断予定部が形成される。図9に示すようにクラック領域9を起点として（すなわち、切断予定部を起点として）クラックがさらに成長し、図10に示すようにクラックが加工対象物1の表面3と裏面17に到達し、図11に示すように加工対象物1が割れることにより加工対象物1が切断される。加工対象物の表面と裏面に到達するクラックは自然に成長する場合もあるし、加工対象物に力が印加されることにより成長する場合もある。

【0031】

（2）改質領域が熔融処理領域の場合

加工対象物（例えばシリコンのような半導体材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm^2) 以上で且つパルス幅が $1 \mu s$ 以下の条件でレーザ光を照射する。これにより加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に熔融処理領域が形成される。熔融処理領域とは一旦熔融後再固化した領域や、まさに熔融状態の領域や、熔融状態から再固化する状態の領域であり、相変化した領域や結晶構造が変化した領域ということもできる。また、熔融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域ということもできる。つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及び多結晶構造を含む構造に変化した領域を意味する。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合、熔融処理領域は例えば非晶質シリコン構造である。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm^2) である。パルス幅は例えば $1 ns \sim 200 ns$ が好ましい。

【0032】

本発明者は、シリコンウェハの内部で熔融処理領域が形成されることを実験により確認した。実験条件は次の通りである。

【0033】

（A）加工対象物：シリコンウェハ（厚さ $350 \mu m$ 、外径4インチ）

（B）レーザ

光源：半導体レーザ励起Nd:YAGレーザ

波長： $1064 nm$

レーザ光スポット断面積： $3.14 \times 10^{-8} cm^2$

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数： $100 kHz$

パルス幅： $30 ns$

出力： $20 \mu J$ /パルス

レーザ光品質： TEM_{00}

偏光特性：直線偏光

（C）集光用レンズ

倍率：50倍

N. A. : 0.55

レーザー光波長に対する透過率：60パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100mm/秒

【0034】

図12は、上記条件でのレーザー加工により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。シリコンウェハ11の内部に熔融処理領域13が形成されている。なお、上記条件により形成された熔融処理領域13の厚さ方向の大きさは100μm程度である。

【0035】

熔融処理領域13が多光子吸収により形成されたことを説明する。図13は、レーザー光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。ただし、シリコン基板の表面側と裏面側それぞれの反射成分を除去し、内部のみの透過率を示している。シリコン基板の厚さtが50μm、100μm、200μm、500μm、1000μmの各々について上記関係を示した。

【0036】

例えば、Nd:YAGレーザーの波長である1064nmにおいて、シリコン基板の厚さが500μm以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザー光が80%以上透過することが分かる。図12に示すシリコンウェハ11の厚さは350μmであるので、多光子吸収による熔融処理領域13はシリコンウェハの中心付近、つまり表面から175μmの部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ200μmのシリコンウェハを参考にすると、90%以上なので、レーザー光がシリコンウェハ11の内部で吸収されるのは僅かであり、ほとんどが透過する。このことは、シリコンウェハ11の内部でレーザー光が吸収されて、熔融処理領域13がシリコンウェハ11の内部に形成（つまりレーザー光による通常の加熱で熔融処理領域が形成）されたものではなく、熔融処理領域13が多光子吸収により形成されたことを意味する。多光子吸収による熔融処理領域の形成は、例えば、溶接学会全国大会講演概要第66集（2000年4月）の第72頁～第73頁の「ピコ秒パルスレーザーによるシリコンの加工特性評価」に記載されている。

【0037】

なお、シリコンウェハは、熔融処理領域でもって形成される切断予定部を起点として断面方向に向かって割れを発生させ、その割れがシリコンウェハの表面と裏面とに到達することにより、結果的に切断される。シリコンウェハの表面と裏面に到達するこの割れは自然に成長する場合もあるし、シリコンウェハに力が印加されることにより成長する場合もある。なお、切断予定部からシリコンウェハの表面と裏面とに割れが自然に成長する場合には、切断予定部を形成する熔融処理領域が熔融している状態から割れが成長する場合と、切断予定部を形成する熔融処理領域が熔融している状態から再固化する際に割れが成長する場合とのいずれもある。ただし、どちらの場合も熔融処理領域はシリコンウェハの内部のみに形成され、切断後の切断面には、図12のように内部にのみ熔融処理領域が形成されている。加工対象物の内部に熔融処理領域でもって切断予定部を形成すると、切断時、切断予定部ラインから外れた不必要な割れが生じにくいので、切断制御が容易となる。

【0038】

(3) 改質領域が屈折率変化領域の場合

加工対象物（例えばガラス）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²)以上で且つパルス幅が1ns以下の条件でレーザー光を照射する。パルス幅を極めて短くして、多光子吸収を加工対象物の内部に起こさせると、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せずに、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²)である。パルス幅は例えば1ns以下が好ましく、1ps以下がさらに好ましい。多光子吸収による屈折率変化領域の形成は、例えば、第42回レーザー熱加工研究会論文集（1997年、11月）の第105

10

20

30

40

50

頁～第 111 頁の「フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成」に記載されている。

【0039】

次に、本実施形態に係るレーザ加工装置について、図 14 及び図 15 を参照して説明する。

【0040】

図 14 に示すように、レーザ加工装置 20 は、ウェハ状の加工対象物 1 の内部に集光点 P1 を合わせて加工用レーザ光（第 1 のレーザ光）L1 を照射することで、加工対象物 1 の内部に多光子吸収による改質領域 7 を形成し、この改質領域 7 でもって、加工対象物 1 の表面 3 に沿って延在する切断予定部 8 を形成する装置である。ここで、加工対象物 1 はシリコンウェハ等の半導体ウェハであり、改質領域 7 は熔融処理領域である。

10

【0041】

このレーザ加工装置 20 は、加工対象物 1 が載置されるステージ 21 を有しており、このステージ 21 は、上下方向を Z 軸方向として X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向の各方向に移動可能となっている。ステージ 21 の上方には、加工用レーザ光 L1 を発生するレーザ光源 22 等を収容した筐体 23 が配置されている。このレーザ光源 22 は、例えば Nd:YAG レーザであり、真下に位置するステージ 21 上の加工対象物 1 に向けてパルス幅 1 μ s 以下のパルスレーザ光である加工用レーザ光 L1 を出射する。

【0042】

筐体 23 の下端面には電動レボルバ 24 が取り付けられており、この電動レボルバ 24 には、加工対象物 1 を観察するための観察用対物レンズ 26 と、加工用レーザ光 L1 を集光するための加工用対物レンズ 27 とが装着されている。各対物レンズ 26、27 の光軸は、電動レボルバ 24 の回転によって加工用レーザ光 L1 の光軸に一致させられる。なお、加工用対物レンズ 27 と電動レボルバ 24 との間には、 piezo 素子を用いたアクチュエータ 28 が介在されており、このアクチュエータ 28 によって加工用対物レンズ 27 の位置が Z 軸方向（上下方向）に微調整される。

20

【0043】

図 15 に示すように、加工用対物レンズ 27 は円筒形状のレンズホルダ 29 を有し、このレンズホルダ 29 は、その内部において複数のレンズを組み合わせる開口数「0.80」の集光レンズ 31 を保持している。そして、レンズホルダ 29 の上端部には、集光レンズ 31 に対する加工用レーザ光 L1 の入射瞳として入射開口 32 が形成され、レンズホルダ 29 の下端部には加工用レーザ光 L1 の出射開口 33 が形成されている。このように構成された加工用対物レンズ 27 によって加工用レーザ光 L1 が集光され、集光レンズ 31 による集光点 P1 での加工用レーザ光 L1 のピークパワー密度は 1×10^8 (W/cm^2) 以上となる。

30

【0044】

また、筐体 23 内における加工用レーザ光 L1 の光軸上には、図 14 に示すように、レーザ光源 22 で発生したレーザ光 L1 のビームサイズを拡大するビームエキスパンダ 34 と、レーザ光 L1 の出力や偏光を調整するレーザ光調整光学系 36 と、レーザ光 L1 の通過又は遮断を行う電磁シャッター 37 と、レーザ光 L1 のビームサイズを絞る絞り部材 38 とが上から下にこの順序で配置されている。

40

【0045】

図 15 に示すように、絞り部材 38 は、加工用対物レンズ 27 の入射開口 32 の上方に位置して筐体 23 に取り付けられており、加工用レーザ光 L1 の光軸上においてこのレーザ光 L1 を絞って通過させるアパーチャ 39 を有している。このアパーチャ 39 の開口径は、加工用対物レンズ 27 の入射開口 32 と同径もしくは小さい径に形成されており、アパーチャ 39 の中心軸は、絞り部材 38 に設けられた調節ネジ 35 によって入射開口 32 の中心軸に正確に一致させることができる。

【0046】

このように構成された絞り部材 38 をビームエキスパンダ 34 と加工用対物レンズ 27 と

50

の間に配置することで、次のような作用・効果を奏する。すなわち、ビームエキスパンダ 34 によりビームサイズを拡大された加工用レーザ光 L1 は、絞り部材 38 によってアパーチャ 39 より大きいレーザ光 L1 の外周部分がカットされ、これにより、アパーチャ 39 を通過した加工用レーザ光 L1 の径は、加工用対物レンズ 27 の入射開口 32 の径と略同等になる。そのため、入射開口 32 の周囲部分によるレーザ光 L1 のカット量をほとんどなくして、加工用レーザ光 L1 の照射によるレンズホルダ 29 の加熱を防止することができる。したがって、レーザ加工中におけるレンズホルダ 29 の加熱を主原因とした加工用レーザ光 L1 の集光点 P1 の位置変動を小さく抑えることが可能になる。

【0047】

さらに、レーザ加工装置 20 は、加工用レーザ光 L1 の集光点 P1 の位置が加工対象物 1 の表面 3 から一定の深さとなるように集光点 P1 の位置を制御する集光点位置制御手段 40 を有している。この集光点位置検出手段 40 について、図 15 ～ 図 18 を参照して説明する。

【0048】

図 15 に示すように、レーザダイオード等である測距用光源 41 から出射された測距用レーザ光（第 2 のレーザ光）L2 は、ピンホール 43、ビームエキスパンダ 44 を順次通過した後、ミラー 46、ハーフミラー 47 により順次反射されて、電磁シャッタ 37 と絞り部材 38 との間に配置されたダイクロイックミラー 48 に導かれる。このダイクロイックミラー 48 により反射された測距用レーザ光 L2 は、加工用レーザ光 L1 の光軸上を下方に向かって進行し、絞り部材 38 のアパーチャ 39 を通過した後、加工用対物レンズ 27 の集光レンズ 31 により集光されて加工対象物 1 に照射される。なお、加工用レーザ光 L1 はダイクロイックミラー 48 を透過する。

【0049】

そして、加工対象物 1 の表面（レーザ光照射面）3 で反射された測距用レーザ光の反射光 L3 は、加工用対物レンズ 27 の集光レンズ 31 に再入射して加工用レーザ光 L1 の光軸上を上方に向かって進行し、絞り部材 38 のアパーチャ 39 を通過した後、ダイクロイックミラー 48 により反射される。このダイクロイックミラー 48 により反射された測距用レーザ光の反射光 L3 は、ハーフミラー 47、フィルタ 45 を順次通過する。このフィルタ 45 は、波長に応じて光を通過させ或いは遮断するものであり、測距用レーザ光の反射光 L3 を通過させる一方、加工対象物 1 の表面 3 や裏面 17 で反射した加工用レーザ光 L1 の反射光を遮断する。フィルタ 45 を通過した測距用レーザ光の反射光 L3 は、シリンドリカルレンズと平凸レンズとからなる整形光学系 49 により集光されて、フォトダイオードを 4 等分してなる 4 分割位置検出素子 42 上に照射される。

【0050】

この受光素子である 4 分割位置検出素子 42 上に集光された測距用レーザ光の反射光 L3 の集光像パターンは、加工用対物レンズ 27 の集光レンズ 31 による測距用レーザ光 L2 の集光点（すなわち、焦点）が加工対象物 1 の表面 3 に対してどの位置にあるかによって変化する。ここで、測距用レーザ光 L2 の集光点の位置と測距用レーザ光の反射光 L3 の集光像パターンとの関係について説明する。

【0051】

図 16 に示すように、測距用レーザ光 L2 の集光点 P2 が加工対象物 1 の表面 3 上に位置する場合には、測距用レーザ光の反射光 L3 は、測距用レーザ光 L2 と同様の軌跡を辿って加工用対物レンズ 27 の集光レンズ 31 を逆行し、整形光学系 49 を通過して 4 分割位置検出素子 42 上に真円の集光像パターン F を形成する。

【0052】

また、図 17 に示すように、測距用レーザ光 L2 の集光点 P2 が加工対象物 1 の表面 3 の先（すなわち、加工対象物 1 の内部）に位置する場合には、測距用レーザ光の反射光 L3 は、測距用レーザ光 L2 とは異なり拡散しながら加工用対物レンズ 27 の集光レンズ 31 を逆行し、整形光学系 49 を通過して 4 分割位置検出素子 42 上に縦長の楕円の集光像パターン F を形成する。

【0053】

また、図18に示すように、測距用レーザ光L2の集光点P2が加工対象物1の表面3の手前に位置する場合には、測距用レーザ光の反射光L3は、測距用レーザ光L2とは異なり集光されながら加工用対物レンズ27の集光レンズ31を逆行し、整形光学系49を通して4分割位置検出素子42上に横長の楕円の集光像パターンFを形成する。

【0054】

以上のように、4分割位置検出素子42上における測距用レーザ光の反射光L3の集光像パターンFは、測距用レーザ光L2の集光点P2の位置に応じて変化する。そのため、4分割位置検出素子42からの出力信号（縦方向で対向する受光面からの出力と横方向で対向する受光面からの出力との差）に基づいて、加工対象物1の表面3に対する測距用レーザ光L2の集光点P2の位置を求めることができる。

10

【0055】

そこで、集光点位置制御手段40は、図15に示すように、位置検出演算回路50及びアクチュエータ制御部55を有している。位置検出演算回路50は、4分割位置検出素子42からの出力信号に基づいて、加工対象物1の表面3に対する測距用レーザ光L2の集光点P2の位置を演算する。そして、アクチュエータ制御部55は、位置検出演算回路50により求められた集光点P2の位置に基づいて、加工用レーザ光L1の集光点P1の位置が加工対象物1の表面3から一定の深さとなるようにレーザ加工中常にアクチュエータ28をフィードバック制御し、加工用対物レンズ27の位置を上下方向に微調整する。

【0056】

また、図14に示すように、レーザ加工装置20は、ステージ21上に載置された加工対象物1を観察すべく、観察用可視光を発生する観察用光源51を筐体23外に有し、CCDカメラ52を筐体23内に有している。

20

【0057】

すなわち、観察用光源51で発せられた観察用可視光は、光ファイバからなるライトガイド53により筐体23内に導かれ、視野絞り54、開口絞り56、ダイクロイックミラー57等を順次通過した後、絞り部材38と加工用対物レンズ27の入射開口32と間に配置されたダイクロイックミラー58により反射される。反射された観察用可視光は、加工用レーザ光L1の光軸上を下方に向かって進行し、電動レボルバ24の回転によって加工用レーザ光L1の光軸上に配置された観察用対物レンズ26を通過して加工対象物1に照射される。なお、加工用レーザ光L1、測距用レーザ光L2及びその反射光L3はダイクロイックミラー58を透過する。

30

【0058】

そして、加工対象物1の表面3で反射された観察用可視光の反射光は、観察用対物レンズ26内に再入射して加工用レーザ光L1の光軸上を上方に向かって進行し、ダイクロイックミラー58により反射される。このダイクロイックミラー58により反射された反射光は、ダイクロイックミラー57により更に反射されて、フィルタ59、結像レンズ61、リレーレンズ62を順次通過し、CCDカメラ52に入射することになる。

【0059】

このCCDカメラ52により撮像された撮像データは全体制御部63に取り込まれ、この全体制御部63によってTVモニタ64に加工対象物1の表面3等の画像が映し出される。なお、全体制御部63は、各種処理を実行すると共に、ステージ21の移動、電磁レボルバ24の回転、電磁シャッタ37の開閉、CCDカメラ52による撮像等の他、レーザ加工装置20の全体の動作を制御するものである。

40

【0060】

次に、上述したレーザ加工装置20によるレーザ加工手順について、図19を参照して説明する。ここでは、加工対象物1の表面3に沿ってその表面3から深さDの位置に改質領域7を形成し、この改質領域7でもって切断予定ラインに沿って延在する切断予定部8を形成するものとする。

【0061】

50

まず、ステージ 2 1 上に加工対象物 1 を載置し、加工対象物 1 の改質領域 7 の形成開始位置と加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 とが一致するようにステージ 2 1 を移動させる。このステージ 2 1 の初期位置は、加工対象物 1 の厚さや屈折率、加工用対物レンズ 2 7 の集光レンズ 3 1 の開口数等に基づいて決定される。

【0062】

続いて、レーザ光源 2 2 から加工用レーザ光 L 1 を出射すると共に、測距用レーザ光源 4 1 から測距用レーザ光 L 2 を出射し、集光レンズ 3 1 により集光されたレーザ光 L 1, L 2 が切断予定ライン上をスキャンするようにステージ 2 1 を X 軸方向や Y 軸方向に駆動する。このとき、焦点位置制御手段 4 0 によって、測距用レーザ光の反射光 L 3 が検出され、加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 の位置が常に加工対象物 1 の表面 3 から一定の深さ D となるようにアクチュエータ 2 8 がフィードバック制御されて、加工用対物レンズ 2 7 の位置が上下方向に微調整される。

10

【0063】

これにより、図 1 9 に示すように、加工対象物 1 の表面 3 に面振れがあっても、表面 3 から一定の深さ D の位置に改質領域 7 を形成し、表面 3 から距離 D をもって表面 3 の面振れに追従した切断予定部 8 を形成することができる。このような表面 3 の面振れに追従した切断予定部 8 を有する加工対象物 1 をその切断予定部 8 に沿って切断すると、加工対象物 1 の表面 3 側での切断精度が安定化する。そのため、シリコンウェハである加工対象物 1 の表面 3 に受光素子や或いは発光素子等の機能素子が複数形成され、この機能素子毎に加工対象物 1 を切断する場合には、切断による機能素子の損傷を防止することが可能になる。

20

【0064】

そして、加工対象物 1 の内部において裏面 1 7 側より表面 3 側に近い位置に改質領域 7 を形成すると、表面 3 側での切断精度を向上させることができる。そのため、例えば、平均板厚 100 μm のシリコンウェハでは表面から深さ 30 μm の位置、また、平均板厚 50 μm のシリコンウェハでは表面から深さ 10 μm の位置といったように、表面 3 からの深さが僅か数十 μm の位置に改質領域 7 を形成する場合がある。このような場合に加工対象物 1 の表面 3 に面振れがあっても、レーザ加工装置 2 0 によれば、表面 3 から改質領域 7 を露出させてしまうことなく、表面 3 の面振れに追従した切断予定部 8 を加工対象物 1 の内部に形成することができる。

30

【0065】

以上説明したようにレーザ加工装置 2 0 においては、加工用レーザ光 L 1 と測距用レーザ光 L 2 とが同一の軸線上において加工用対物レンズ 2 7 の集光レンズ 3 1 により加工対象物 1 に向けて集光される。このとき、集光点位置制御手段 4 0 によって、加工対象物 1 の表面 3 で反射された測距用レーザ光の反射光 L 3 が検出され、加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 の位置が加工対象物 1 の表面 3 から一定の深さ D の位置に制御される。このように、加工用レーザ光 L 1 による改質領域 7 の形成と、測距用レーザ光 L 2 による表面 3 の変位の測定とが同一の軸線上において行われるため、例えば、加工対象物 1 を載置するステージ 2 1 の振動などを原因として、加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 の位置が一定の深さ D の位置からずれてしまうのを防止することができる。したがって、加工用レーザ光 L 1 を加工対象物 1 の表面 3 から一定の深さ D の位置に精度良く集光することが可能になる。

40

【0066】

また、薄い板状の加工対象物 1 の内部に多光子吸収による改質領域 7 を形成する場合には加工用対物レンズ 2 7 の集光レンズ 3 1 の開口数を「0.80」というように大きくする必要があり、そのため、集光レンズ 3 1 と加工対象物 1 とが 10 mm 程度まで近接することになる。このような状態で、表面 3 の変位を測定するためのセンサ等を集光レンズ 3 1 の側方に並設させることは装置構成上極めて困難であるが、レーザ加工装置 2 0 によれば、そのような困難な構成を採用する必要もない。

【0067】

また、レーザ加工装置 2 0 において、測距用レーザ光の反射光 L 3 の光路上には、この反

50

射光 L 3 を通過させる一方、加工対象物 1 の表面 3 や裏面 1 7 で反射された加工用レーザ光 L 1 の反射光を遮断するフィルタ 4 5 が設けられている。これにより、集光点位置検出手段 4 0 は、加工用レーザ光 L 1 の反射光に影響されことなく測距用レーザ光の反射光 L 3 を正確に検出することができ、加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 の位置精度をより一層向上させることが可能になる。

【0068】

本発明は上記実施形態に限定されない。例えば、上記実施形態は、加工対象物 1 の内部に多光子吸収による改質領域 7 を形成する場合であったが、本発明は様々なレーザ加工に適用可能であり、上記実施形態と同様に、加工対象物 1 を加工するためのレーザ光を所定の位置に精度良く集光することが可能である。

10

【0069】

また、上記実施形態は、集光点位置制御手段 4 0 が加工対象物 1 の表面 3 での測距用レーザ光の反射光 L 3 を検出する場合であったが、本発明はこれに限らない。例えば、加工対象物 1 の表面 3 での測距用レーザ光の反射光 L 3 と共に、加工対象物 1 の裏面（レーザ光照射面）1 7 での測距用レーザ光 L 2 の反射光を検出してもよい。これにより、加工対象物 1 の表面 3 の変位と裏面 1 7 の変位とを測定することができ、よって、加工用対物レンズ 2 7 の集光レンズ 3 1 直下における加工対象物 1 の厚さを正確に求めることができる。したがって、例えば、加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 を加工対象物 1 の厚さの半分の位置に合わせたり、加工対象物 1 の厚さの表面 3 側から 1 / 3 の位置に合わせたりというような集光点 P 1 の位置制御が可能になる。

20

【0070】

さらに、上記実施形態は、加工対象物 1 の表面 3 から一定の深さ D の位置に加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 を合わせる場合であったが、集光点 P 1 を合わせる位置を切断予定ラインに沿って変化させるような集光点 P 1 の位置制御を行ってもよい。例えば、集光点 P 1 を合わせる位置を波線状に変化させたり、集光点 P 1 を合わせる位置の深さを途中で変えたりしてもよい。

【0071】

【発明の効果】

以上説明したように本発明に係るレーザ加工装置及びレーザ加工方法によれば、加工対象物を加工するためのレーザ光を所定の位置に精度良く集光することが可能になる。

30

【図面の簡単な説明】

【図 1】本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工中の加工対象物の平面図である。

【図 2】図 1 に示す加工対象物の I I - I I 線に沿った断面図である。

【図 3】本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工後の加工対象物の平面図である。

【図 4】図 3 に示す加工対象物の I V - I V 線に沿った断面図である。

【図 5】図 3 に示す加工対象物の V - V 線に沿った断面図である。

【図 6】本実施形態に係るレーザ加工方法により切断された加工対象物の平面図である。

【図 7】本実施形態に係るレーザ加工方法における電界強度とクラックスポットの大きさとの関係を示すグラフである。

40

【図 8】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 1 工程における加工対象物の断面図である。

【図 9】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 2 工程における加工対象物の断面図である。

【図 10】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 3 工程における加工対象物の断面図である。

【図 11】本実施形態に係るレーザ加工方法の第 4 工程における加工対象物の断面図である。

【図 12】本実施形態に係るレーザ加工方法により切断されたシリコンウェハの一部にお

50

ける断面の写真を表した図である。

【図 1 3】本実施形態に係るレーザ加工方法におけるレーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。

【図 1 4】本実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成図である。

【図 1 5】図 1 4 に示すレーザ加工装置の集光点位置制御手段を示す概略構成図である。

【図 1 6】測距用レーザ光の集光点が加工対象物の表面上に位置する場合の測距用レーザ光の反射光の集光像パターンを説明するための図である。

【図 1 7】測距用レーザ光の集光点が加工対象物の表面の先に位置する場合の測距用レーザ光の反射光の集光像パターンを説明するための図である。

【図 1 8】測距用レーザ光の集光点が加工対象物の表面の手前に位置する場合の測距用レーザ光の反射光の集光像パターンを説明するための図である。

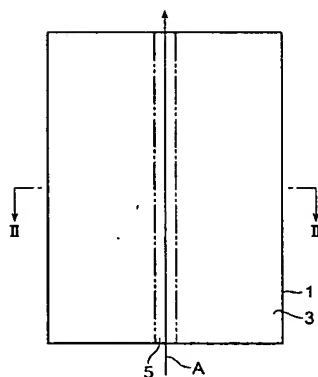
10

【図 1 9】図 1 4 に示すレーザ加工装置による加工対象物の加工の様子を示す図である。

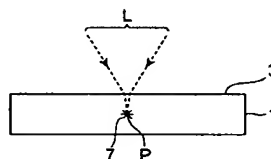
【符号の説明】

1 …加工対象物、3 …表面（レーザ光照射面）、7 …改質領域、17 …裏面（レーザ光照射面）20 …レーザ加工装置、31 …集光レンズ、40 …集光点位置制御手段、45 …フィルタ、L1 …加工用レーザ光（第1のレーザ光）、L2 …測距用レーザ光（第2のレーザ光）、L3 …測距用レーザ光の反射光、P1 …集光点。

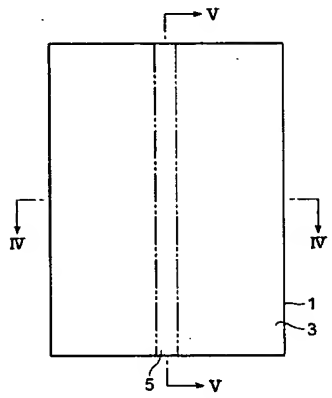
【図 1】



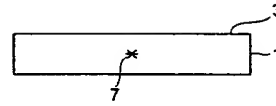
【図 2】



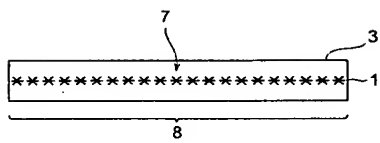
【 図 3 】



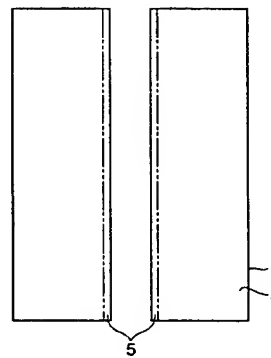
【 図 4 】



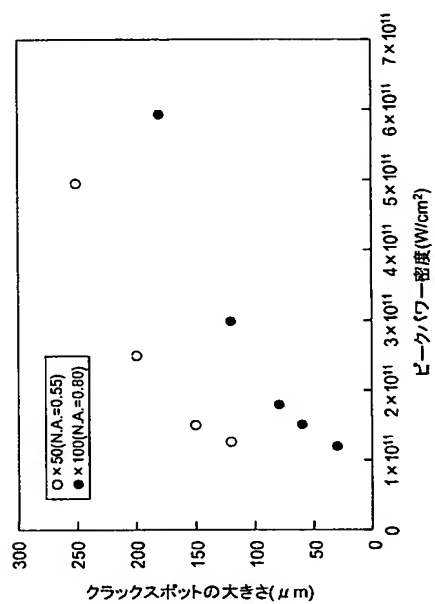
【 図 5 】



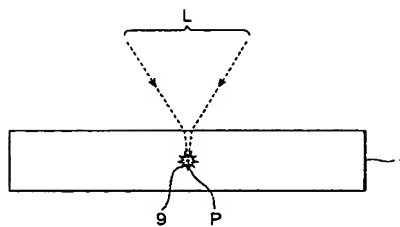
【 図 6 】



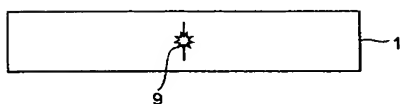
【図 7】



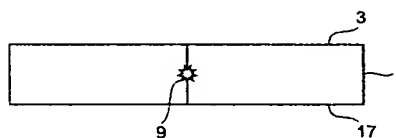
【図 8】



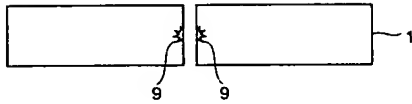
【図 9】



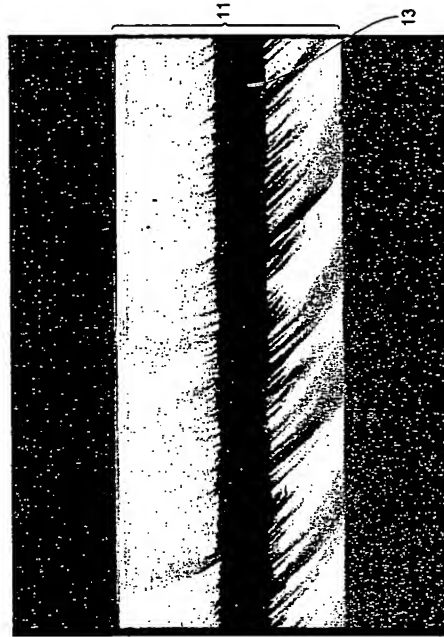
【図 10】



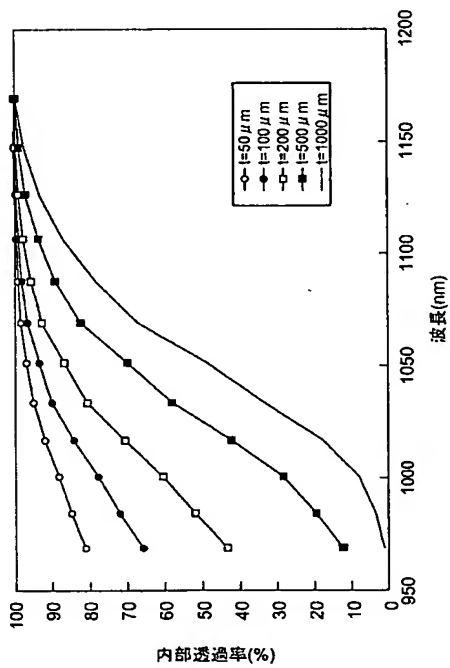
【図 1 1】



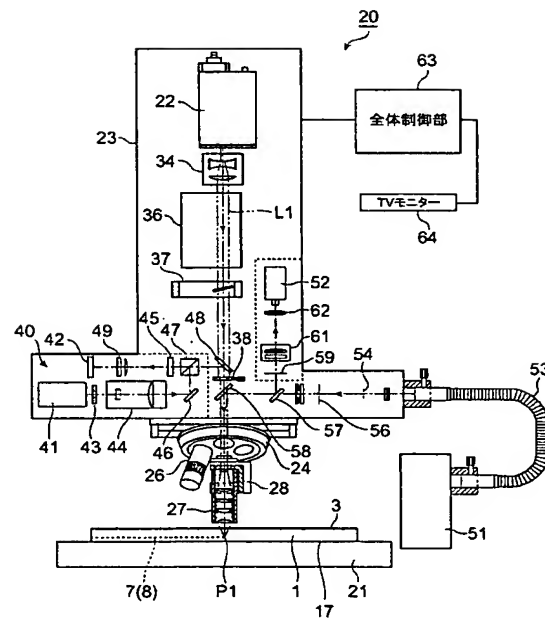
【図 1 2】



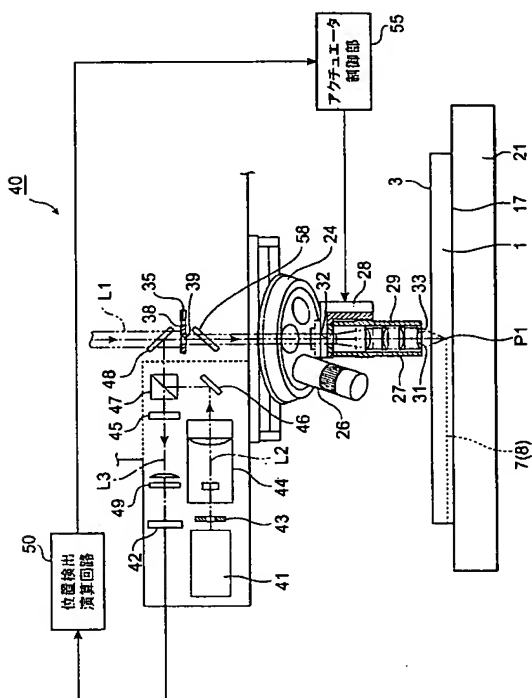
【図 1 3】



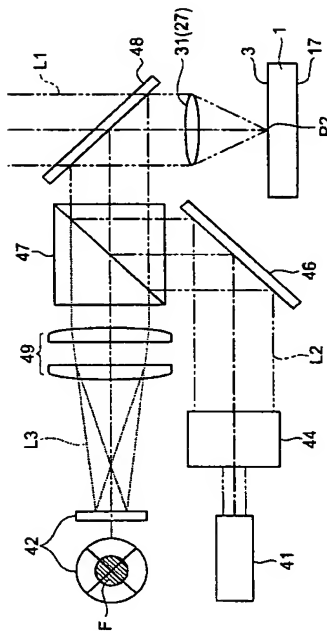
【図 1 4】



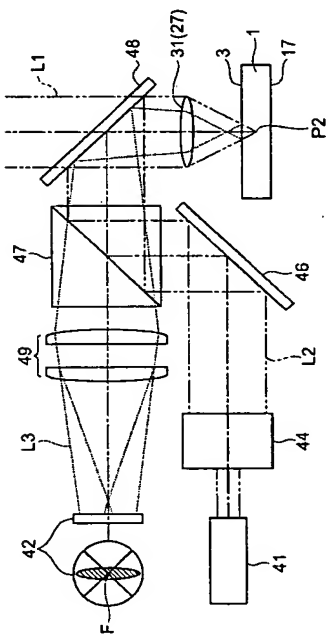
【図 15】



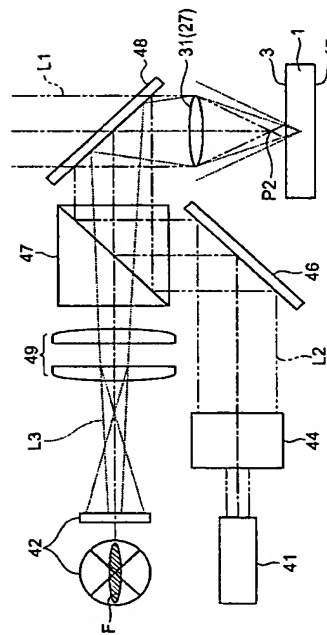
【図 16】



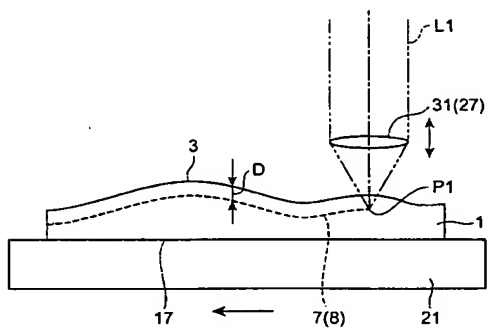
【図 17】



【図 18】



【図 19】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.⁷

F I

テーマコード (参考)

B 2 3 K 101:40

(72)発明者 久野 耕司

静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内

F ターム(参考) 3C069 AA01 BA08 BB03 BC03 CA05 EA01

4E068 CA11 CA12 CB09 CC06 CD10 DA10